5П

УДК 004.382

С.А. Поливцев, Е.С. Цыбульник, В.В. Кобыляков
Институт проблем искусственного интеллекта
МОН Украины и НАН Украины, г. Донецк
Украина, 83048, г. Донецк, ул. Артема, 118 б

Методы анализа сигналов звукового диапазона массивом сенсоров мобильного робота

S.A. Polivtsev, H.S. Thsibulnik, V.V. Kobiliakov
Institute of Artificial Intelligence
MES of Ukraine and NAS of Ukraine, c. Donetsk
Ukraine, 83048, c. Donetsk, Artema st., 118 b

Methods for Sound Range Signal Analysis by Array of Sensor Controls of Mobile Robot

С.О. Полівцев, Е.С. Цибульнік, В.В. Кобиляков
Інститут проблем штучного інтелекту
МОН України і НАН України, м. Донецьк
Україна, 83048, м. Донецьк, вул. Артема 118 б

Методи аналізу сигналів звукового діапазону масивом сенсорів мобільного робота

В статье рассматриваются теоретические и практические вопросы построения системы пеленгации (т.е. определения направления на источник в трех измерениях) слабых звуковых колебаний в воздушной среде. Результат получают, основываясь на усредненных во времени полиномах второй степени относительно акустического давления и/или компонент колебательной скорости.
Ключевые слова: мобильный робот, массив сенсоров, пеленгация.

In the article, theoretical and practical questions of construction of system of direction finding (i.e. direction definitions on a source in three measurements) of weak sound fluctuations in the air environment are considered. The results are received, being based on the polynoms of the second degree averaged in time concerning acoustic pressure and/or a component of oscillatory speed.
Key Words: the mobile robot, array of sensor controls, direction finding.

У статті розглядаються теоретичні і практичні питання побудови системи пеленгації (тобто визначення напряму на джерело в трьох вимірах) слабких звукових коливань в повітряному середовищі. Результат отримують, ґрунтуючись на усереднених в часі поліномах другої міри відносно акустичного тиску і/або компонент коливальної швидкості.
Ключові слова: мобільний робот, масив сенсорів, пеленгація.

Введение

Пусть на фоне шума окружающей среды имеется слабый (например, на 10 дБ меньше в точке приема) сигнал сосредоточенного малошумного объекта. Комбинированный векторный приемник измеряет в полосе частот анализа акустическое давление P и колебательную скорость $\overline{V}$. Обрабатывая измеренные величины, требуется обнаружить наличие объекта и найти его пеленг. Известно решение, основанное на использовании вектора потока мощности и спектральном анализе. Однако эти решения трудно

применимы для реализации на микроконтроллерах, находящихся на борту мобильного робота, выполняющего поиск источников сигналов. Ниже предлагается более реализуемый и не менее эффективный подход к решению такой задачи.

Основные соотношения

Введем обозначения. Плотность среды *ρ*, скорость звука *c*, компоненты колебательной скорости в декартовой системе координат V_1, V_2, V_3, оси 1 и 2 направлены горизонтально, ось 3 направлена вертикально вверх. Направления осей 1 и 2 считаются известными, например, определяются с попощью компаса или GPS системы. Обозначим $V_0 = P/(\rho c)$. В полосе частот шириной *F* [Гц], полагая шум окружающей среды и шум объекта близкими к белому, независимые измерения сигналов проводятся с периодом $\tau = 1/(2F)c$ в моменты времени $t_i, i = (1,2,...N)$. Угловыми скобками будут обозначаться усреднение во времени, например:

$$<V_i V_j> = \left(\sum_{k=1}^{N} V_i(t_k) V_j(t_k)\right) / N.$$

Для величин $<V_0^2>, <V_0 V_j>$, подразумевается то же. Диаграмма направленности излучающего шум участка поверхности [1, с. 659] $g^2(\Omega) = I_0 \cos^{2m}(\Omega)$, где I_0 – интенсивность излучения при $\Omega = 0$, а Ω – угол отклонения от вертикального направления. Известно, что интенсивность принимаемого сигнала от участка поверхности пропорциональна его площади и обратно пропорциональна квадрату расстояния. Число *m* лежит [1, с. 663] в пределах от 0,5 до 1 для частотного диапазона до 300 – 400 Гц и $m = 1$, 2, 3 для диапазона частот выше 500 Гц, с увеличением скорости ветра и с увеличением частоты число *m* растет. В [2] показано, что число *m* может быть равным 0,5 даже до частоты 700 Гц. Можно обозначить

$$<V_3^2> = T_3.$$

Путем несложных вычислений можно получить:

$$<V_0 V_3> = -T_3(2m+2)/(2m+1),$$

$$<V_0^2> = T_3(m+1)/m \equiv E_3,$$

$$<V_1^2> = <V_2^2> = T_3/2m.$$

Тогда для целей моделирования сигналов можно использовать четыре независимых случайных процесса с нулевым средним и единичной дисперсией $\varepsilon_0(t_k)$ и $\varepsilon_i(t_k)$:

$$i = (1,2,3).$$

Шум окружающей среды можно смоделировать следующей системой:

$$V_3 = \varepsilon_3 \sqrt{E_3 \frac{m}{m+1}}, \quad (1)$$

$$V_0 = -\varepsilon_3 \sqrt{E_3 \frac{2m}{2m+1}} + \varepsilon_0 \sqrt{E_3 \frac{1}{2m+1}}, \quad (2)$$

$$V_1 = \varepsilon_1 \sqrt{E_3 \frac{1}{2(m+1)}}, \quad (3)$$

$$V_2 = \varepsilon_2 \sqrt{E_3 \frac{1}{2(m+1)}}. \quad (4)$$

Далее необходимо ввести систему ограничений вида:

$$V_0^{'} = V_0 + V_3 q \text{, где } q = \sqrt{\frac{2(m+1)}{2m+1}}. \quad (5)$$

$$W_1 = < V_0 V_1 > \rho c,$$

$$W_2 = < V_0 V_2 > \rho c,$$

$$W_1^{'} = < V_0^{'} V_1 > \rho c,$$

$$W_2^{'} = < V_0^{'} V_2 > \rho c.$$

Для объекта, излучающего шум в горизонтальном направлении, вектор потока мощности с компонентами W_1, W_2 и вектор с компонентами $W_1^{'}$, $W_2^{'}$ при большом времени усреднения совпадут. При конечном времени усреднения флуктуация вектора будет существенно меньше, т. е. эффективное отношение сигнал/помеха станет лучше (примерно на 3 дБ, при m =1,5). Сигнал малошумного объекта можно описать выражениями вида:

$$V_3 = 0,$$

$$V_0 = \varepsilon_4 \sqrt{E_4},$$

$$V_1 = -\varepsilon_4 \sqrt{E_4} \cos(\varphi),$$

$$V_2 = -\varepsilon_4 \sqrt{E_4} \sin(\varphi),$$

где φ – угол пеленга объекта в горизонтальной плоскости, $\varepsilon_4(t_k)$ случайный процесс с нулевым средним и единичной дисперсией, а величина E_4 характеризует интенсивность излучения шума объектом. Обозначим:

$$U_1 = < V_1^2 > - < V_2^2 >,$$

$$U_2 = 2 < V_1 V_2 >.$$

Из этих уравнений по полученным в результате измерений величинам U_1 и U_2 можно вычислить величины E_4 и φ (с точностью до слагаемого, кратного π) и можно построить вектор $U^{'}$ с компонентами

$$U_1^{'} = E_4 \cos(\varphi) \rho c,$$

$$U_2^{'} = E_4 \sin(\varphi) \rho c.$$

Направление вектора $U^{'}$ определено с точностью до смены знака. Смысл вектора такой же, как и вектора потока мощности W или вектора W′ с уменьшенной флуктуацией. Шум окружающей среды искажает измеренные значения векторов W' и U', но согласно формулам (1-4) шумовая составляющая, вносимая в вектора W' и U' практически независима друг от друга. В вектор W' дают вклад произведения $< \varepsilon_0 \varepsilon_1 >$ и $< \varepsilon_0 \varepsilon_2 >$, а в вектор $U^{'}$ дают вклад произведения $< \varepsilon_1 \varepsilon_2 >$, $< \varepsilon_1^2 >$, $< \varepsilon_2^2 >$ и, следовательно, взвешенная сумма этих векторов будет зашумлена меньше, эффективное отношение сигнал/помеха возрастет. Другими словами, вычисляются два вектора:

$$M_1 = (\alpha W_1^{'} + \beta U_1^{'}) / (\alpha + \beta),$$

$$M_2 = (\alpha W_2^{'} + \beta U_2^{'}) / (\alpha + \beta),$$

$$M_1^{'} = (\alpha W_1^{'} - \beta U_1^{'}) / (\alpha + \beta),$$

$$M_2^{'} = (\alpha W_2^{'} - \beta U_2^{'}) / (\alpha + \beta).$$

M – с компонентами M_1 и M_2 и M' – с компонентами $M_1^{'}$ и $M_2^{'}$, и в качестве ответа выбирается больший по модулю. Таким образом, вектор потока мощности позволяет нам правильно выбрать знак вектора U', а вектор U' вместе с вектором W' позволяют снизить флуктуацию результата.

Выводы

Коэффициенты α и β могут быть выбраны в зависимости от желаемой цели. Таких существенно разных целей видится две, а именно: точно найти направление на объект и точно определить уровень его сигнала. Для мобильного робота, работающего в режиме поиска, актуальными являются обе задачи, но это не означает, что их надо решать одновременно. Пусть на данном этапе актуальной является задача наиболее точно определить направление на объект – источник сигнала. Тогда в соответствии со структурой системой [3] для каждой пары сенсоров (микрофонов) находятся вектора M_1 и M_2 и M′ – с компонентами $M_1^{'}$ и $M_2^{'}$, из пар выбирается больший по модулю и эти вектора собственно и будут определять конус направления на источник сигнала.

Литература

1. Акустика океана / [под редакцией Л.М. Бреховских]. – М. : Наука, 1974. – 693 с.
2. Щуров В.А. Векторная акустика океана / Щуров В.А. – Владивосток : Дальнаука, 2003. – 307 с.
3. Поливцев С.А. Модель воздушной среды и 3D-реализация системы пеленгации / Поливцев С.А., Иванова С.Б., Цыбульник Е.С. // Искусственный интеллект. – 2012. – № 1. – С. 115-118.

Literatura

1. Akustika okeana. M. “Nauka”. 1974. 693 s.
2. Shhurov V.A. Vektornaja akustika okeana. Vladivostok. Dal’nauka. 2003. 307 s.
3. Polivcev S.A. Iskusstvennyj intellekt. 2012. № 1. S.115-118.

RESUME

S.A.Polivtsev, H.S. Thsibulnik, V.V. Kobiliakov

Methods for Sound Range Signal Analysis by Array of Sensor Controls of Mobile Robot

Factors can be chosen depending on the desirable purpose. Such Essentially different purposes sees two, namely: precisely to find a direction on object and precisely to define level of its signal. For the mobile robot working in a mode of search, both problems are actual, but it does not mean that they should be solved simultaneously. Let at the given stage the problem most precisely is actual to define a direction on object – a signal source. According to structure of system for each pair of sensor controls (microphones) are a vector and – with components and, of pairs gets out больший on the module and these of a vector actually and will define a direction cone on a signal source.

Статья поступила в редакцию 29.08.2012.